

## بررسی راندمان حذف تری هالومتانها (THMs) توسط سیستم اسمز

### معکوس خانگی

مهندس سجاد مظلومی<sup>۱</sup>، دکتر امیرحسین محوی<sup>۱\*</sup>، دکتر رامین نبی زاده<sup>۱</sup>، دکتر سیمین ناصری<sup>۱</sup>،  
دکتر کاظم ندافی<sup>۱</sup>، مهدی فضل زاده دوپل<sup>۱</sup>، مسلم مظلومی<sup>۲</sup>، آیت رحمانی<sup>۱</sup>

(۱) گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

(۲) گروه شیمی، دانشکده شیمی دانشگاه آزاد واحد دورود

### چکیده

مقدمه: واکنش گندزداها با مواد آلی طبیعی (natural organic compounds = NOMs) موجود در آب، منجر به تشکیل محصولات جانبی گندزدایی (DBPs) هالوژنه از قبیل تری هالومتانها و هالواستیک اسیدها می شود. خطرات بالقوه و خصوصیات سرطانزایی THMs اثبات شده است. بنابراین مطالعات زیادی جهت حذف پیش سازهای THMs یا حذف خود THMs تولید شده در آب، انجام گرفته است. مواد روشها: برای این تحقیق از یک سیستم اسمز معکوس با مدول های مارپیچی در مقیاس پایلوت استفاده شد جنس آن از استات سلولز و ساخت کره و مدل NO.RE 2012-100 بود. به هنگام استفاده از تک پمپ مقدار دبی برابر ۰.۷۵ l/min و دو پمپ ۱.۷۳ l/min بود. پس از آماده سازی پایلوت اسمز معکوس (RO)، مقدار هدایت الکتریکی EC و غلظت کلروفورم (شاخص THMs) و تغییرات دبی مد نظر قرار گرفت. مقدار کلرفورم در قبل و بعد از عبور از سیستم (RO) بوسیله دستگاه گاز کروماتوگرافی (GC) با دتکتور یونیزاسیون بوسیله اشعه (FID) اندازه گیری شد.

یافته های پژوهش: متوسط حداکثر میزان حذف کلروفورم و EC در حالت تک پمپ و در متوسط غلظت اولیه کلروفورم و EC به ترتیب ۱۰۰ µg/l و ۱۰۰ µs/cm، به ترتیب برابر با ۸۵.۶۷ و ۹۰.۴۶ درصد می باشد. متوسط حداقل میزان حذف کلروفورم و EC در حالت دو پمپ و در غلظت اولیه کلروفورم و EC به ترتیب ۵۰۰ µg/l و ۱۰۰۰ µs/cm، به ترتیب برابر با ۸۱.۹۸ و ۸۸.۲۲ درصد می باشد.

کلمات کلیدی: اسمز معکوس، تری هالومتانها، پیش ساز، گاز کروماتوگرافی

Email: ahmahvi@yahoo.com

## Removal of trihalomethanes (THMs) by means of domestic reverse osmosis

Mazloomi Sajad<sup>1</sup>, Mahvi Amir Hosein<sup>1\*</sup>, Nabizadeh Ramin<sup>1</sup>, Naseri Simin<sup>1</sup>, Nadafi Kazem<sup>1</sup>, Fazlzadeh Mehdi<sup>1</sup>, Mazloomi Moslem<sup>2</sup>, Rahmani ayat<sup>1</sup>

1) Instructor, Dept of health collage, Tehran Medical Science University

2) Instructor, Dept of chemistry, Dorood Azad University

### Abstract

**Introduction:** The reaction of disinfectants with natural organic materials (NOM) existing in water lead to the formation of Disinfection By-Products. One of the most disinfectants is chlorine, which reacts with NOMs and formation of halogenated DBPs including trihalomethanes, haloacetic acids. Potentially hazardous and carcinogenic characteristics of THMs are recognized (Bull et al., 1995). Therefore many studies have done to remove the precursor of THMs or produced THMs from drinking water.

**Material and methods:** For this research used of a pilot scale reverse osmosis set with spiral module. The material of it was cellulose acetate made in Korea (model NO.RE2012-100). When use single pump the measure of transported water was 0.75 l/min, and when used of two pumps penguin serial, it equal to 1.73 l/min. after preparation of RO pilot, was considered the influence of EC and chloroform concentration and variation of flow.

**Results:** Maximum average removal of chloroform and EC in one pump condition and in primary average concentration of chloroform and EC equal to 100 µg/l and 100 µs/cm was 85.65% and 90.46% respectively. Minimum average removal of chloroform and EC in two pump condition and in primary average concentration of chloroform and EC equal to 500 µg/l and 1000 µs/cm was 81.98% and 88.22% respectively.

**Key word:** Reverse osmosis, trihalomethanes, precursor, gas chromatograph

**Email:** ahmahvi@yahoo.com

## مقدمه

واکنش گندزداها با مواد آلی طبیعی (natural organic compounds = NOMs) موجود در آب، منجر به تشکیل محصولات جانبی گندزدایی (DBPs) هالوژنه از قبیل تری هالومتانها، هالواستیک اسیدها، هالواستونیتریلها، هالوالدهیدها، هالوکتونها، کلر فنل ها و کلروپیکرین می شود (۳،۲،۱). هر چه غلظت مواد آلی محلول (DOMs) در آب بیشتر باشد میزان کلر بیشتری مصرف می شود، در نتیجه میزان تولید تری هالومتانها بیشتر است (۴).

برای نخستین بار در سال ۱۹۷۴ میلادی THMs در آب بوسیله محققین USEPA، سوئیس و هلند شناسایی شد (۵). تشکیل THMs فاکتورهای زیادی از قبیل: pH، دما، زمان تماس، غلظت و خصوصیات کلر، کلر باقیمانده، NOMs و غلظت برم بستگی دارد (۹،۸،۷،۶).

با افزایش pH و زمان تماس، تولید تری هالومتانها زیاد می شود (۷،۸،۱۰). با افزایش دما، سرعت واکنش بیشتر شده که در نتیجه آن مصرف کلر زیاد می شود و همین امر منجر به افزایش تشکیل DBPs می شود (۱۴،۱۳،۱۲،۱۱). بسیاری از انواع THMs می توانند در نتیجه واکنش کلر با NOMs تشکیل شوند اما عمده THMs موجود در آب شامل: برم دی کلرومتان ( $\text{CHBrCl}_2$ )، برموفرم ( $\text{CHBr}_3$ )، کلروفرم ( $\text{CHCl}_3$ ) و دی برم کلرومتان ( $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ) (۱۵). قوانین مربوط به محصولات جانبی گندزدایی USEPA که در سال ۱۹۷۶ تنظیم شد است حداکثر مقدار مجاز MCL برای کل تری هالومتانها تحت عنوان متوسط سالانه  $100 \mu\text{g/l}$  اعلام نموده است (۱۶). بر طبق قانون گندزدا DBPs مرحله ۱ در سال ۱۹۹۴ مربوط به USEPA، حداکثر مقدار مجاز را برای کل THMs پایینتر آورد و آنرا به  $80 \mu\text{g/l}$  کاهش داد (۱۷). و همچنین بر طبق مؤسسه استاندارد تحقیقات آب ایران (کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی) در سال ۱۳۷۶ حداکثر مقدار THMs را به  $200 \mu\text{g/l}$  معادل کلروفرم اعلام کرد (۱۸). در جدول ۱ رهنمودها و استانداردهای مربوط به THMs بر حسب (mg/l) در چند نقطه ی مختلف از دنیا آمده است.

جدول شماره ۱: استانداردها و رهنمودهای مربوط به THMs (mg/l) در نواحی مختلف جهان (۱۵)

ترکیب	WHO ۱۹۹۳	USEPA ) (۲۰۰۱	بهداشت کانادا	AUS-(۲۰۰۱) NZ	(۲۰۰۰) UK	ایران
-------	----------	------------------	------------------	------------------	--------------	-------

CHCl <sub>3</sub>	۰,۲۰۰	۰,۰۰۰*	-	-	-	۰,۲۰۰***
CHCl <sub>2</sub> Br	۰,۰۶۰	۰,۰۶۰*	-	-	-	-
CHClBr <sub>2</sub>	۰,۱۰۰	۰,۰۰۰*	-	-	-	-
CHBr <sub>3</sub>	۰,۱۰۰	۰,۰۰۰*	-	-	-	-
THHMs	۱** (THM/WHO) ≤	۰,۰۸۰	۰,۱۰۰	۰,۲۵۰	۰,۱۰۰	-

\* حداکثر غلظت آلاینده در هدف آینده (MCLG).

\*\* مقدار نسبت مقدار THM به مقادیر رهنمود نایستی بیشتر از یک شود.

\*\*\* شاخص کل THMs می باشد (که معمولاً معادل ۷۰ درصد ترکیبات THMs می باشد).

#### روشهای کنترل THMs

خطرات بالقوه و خصوصیات سرطانزایی THMs اثبات شده است (۱۹). بنابراین مطالعات زیادی جهت حذف پیش سازهای THMs یا حذف خود THMs تولید شده در آب، انجام گرفته است. یکی از مهمترین رویکردها جهت کنترل THMs حذف پیش سازهاست از قبیل لخته سازی پیش سازها (۱۵)، جذب سطحی توسط کربن فعال گرانوله ای (۲۰)، فرآیندها غشائی، نانوفیلتراسیون با کمک غشاهایی که توانایی حذف ذرات با وزن مولکولی ۵۰۰-۲۰۰ دالتون را دارند (۲۱)، جذب سطحی توسط پودر کربن فعال (۲۲)، پیش ازن زنی روش جدیدی است که در حال حاضر مورد توجه قرار گرفته است (۲۳). فاکتور دیگر در کنترل THMs، استفاده متناوب از گندزداهایی مانند کلرآمین ها (۲۴)، ازن (۷)، دی اکسید کلر (۷) پرمیگنات (۷)، اشعه UV (۲۵)، می باشد. در حال حاضر استاده از ازن و دی اکسید کلر بعنوان گزینه های مورد اهمیت در آمریکا و اروپا می باشند (۲۶)، از دیگر گزینه های کنترل THMs می توان به تکنولوژیهای ترکیبی (ازن-مونوکلرآمین، پراکسید هیدروژن-ازن، UV-ازن، UV-پراکسید هیدروژن) اشاره کرد (۱۵).

رویکرد دیگر جهت حذف DBPs؛ حذف آنها پس از تولید آنها می باشد به هر حال می توان این ترکیبات را به کمک روشهای مختلفی مانند هوازادایی، تکنولوژیهای غشائی، کربن فعال گرانوله ای حذف کرد (۲۳).

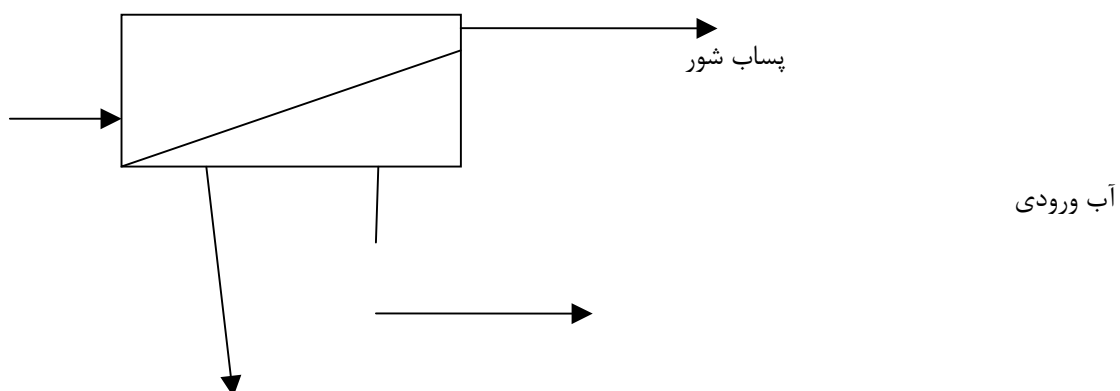
اسمز معکوس مشابه نانوفیلتراسیون، میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون یک تکنولوژی تحت فشار است. برای بسیاری از اهداف در تصفیه آب از اسمز معکوس (RO) استفاده می شود. این فرآیند نخستین بار در سال ۱۷۴۸ توسط Jean Antoin Nollet بکار برده شد (۲۷). جنس فیلترهای اسمز معکوس معمولاً از استات سلولز و یا ترکیبات پلی آمیدی می باشد (۲۷). بسیاری از آنها می توانند مواد محلول را تا ۹۹٪ و با وزن مولکولی بیش از ۱۰۰-۵۰ دالتون را حذف کنند (۲۸). نوع غشاء و اندازه روزنه غشاء دو فاکتور مهم در دفع آلاینده ها می باشند. در سال ۲۰۰۶ بیش از ۱۲۰۰۰ واحد نمکزدایی

در سراسر دنیا وجود داشته که حدود ۴۰ میلیون متر مکعب آب را در روز تولید می کردند. که از این مقدار ۵۰ درصد مربوط به نواحی خلیجی در غرب آسیا، ۱۷ درصد مربوط به آمریکای شمالی، نواحی آسیایی به غیر از مناطق خلیجی حدود ۱۰ درصد، آفریقای شمالی ۸ درصد، اروپا ۷ درصد و شرق استرالیا ۱ درصد را شامل می شدند (۲۹).

آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) توصیه می کند که RO یک تکنولوژی مناسب برای حذف بسیاری از آلاینده های غیر آلی از قبیل آنتیموان، آرسنیک، باریوم، فلئور، نیترات، نیتريت، و سلیوم، همچنین رادیونوکلئیدها از قبیل ذرات بتا و منتشرکننده های فوتون، آلفا و رادیوم می باشد (۲۷). همچنین RO می تواند در حذف موا آلی با وزن مولکولی بالا از قبیل آفت کشها مؤثر باشد (۲۷).

## مواد و روشها

برای این تحقیق از یک سیستم اسمز معکوس با مدول های مارپیچی در مقیاس پایلوت استفاده شد جنس آن از استات سلولز و ساخت کره و مدل NO.RE 2012-100 بود. به منظور انتقال محلول سنتتیک ساخته شده از دو عدد پمپ دیافراگمی مدل WS 0357674 با حداکثر فشار ۱۲۵ psi و ظرفیت ۱,۶ lpm و بصورت متناوب استفاده شد. مقدار سیال انتقال یافته بوسیله یک شیر در انتهای فیلتر تنظیم می شد که با باز و بسته کردن شیر مقدار جریان زیاد یا کم می شد. به هنگام استفاده از تک پمپ مقدار دبی برابر ۰,۷۵ l/min و دو پمپ ۱,۷۳ l/min بود. پس از آماده سازی پایلوت RO، مقدار EC و غلظت کلروفورم (شاخص THMs) و تغییرات دبی مد نظر قرار گرفت. محلول کلرفورم در سه غلظت ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ میکروگرم در لیتر ساخته شد برای ساخت این محلول از کلرفورم با درجه خلوص ۹۹,۹۴٪ و دانسیته ۱,۴۸۱ استفاده شد که در داخل آب با EC برابر ۱۰۰، ۵۰۰ و  $\mu\text{S/cm}$  ۱۰۰۰ جهت ساخت محلولهای مورد نظر حل شد. مقدار کلرفورم در قبل و بعد از عبور از سیستم RO بوسیله دستگاه GC با دتکتور جذب شعله (FID) اندازه گیری شد. مقدار EC بوسیله دستگاه هدایت سنج مدل WTW اندازه گیری شد pH در محدوده بین ۸-۶ کنترل گردید و برای اندازه گیری آن از pH متر مدل Metrohm herisau استفاده شد. شکل ۱ نمای کلی از کار اسمز معکوس را نشان می دهد.



## آب تصفیه شده

غشاء نیمه تراوا

### شکل شماره ۱: نمای کلی از یک فرآیند اسمز معوس

هر سیستم اسمز معکوس دو جریان دارد که یکی آب تولیدی (permeate) و دیگری پساب شور تولیدی می باشد (concentrate). در این سیستم پالوت این مقادیر به ترتیب ۶۰ و ۴۰ درصد مقدار کل جریان بودند که بوسیله شیر موجود در انتهای سیستم اسمز معکوس کنترل می شد. این سیستم می تواند ذرات با وزن مولکولی بیش از ۱۰۰ دالتون را حذف کند. پس از هر بار عبور محلول از سیستم RO، جهت عبور محلول سنتتیک بعدی می بایست که سیستم تمیز شود. برای شستشو در مخزن سیستم ۴،۵ لیتر محلول رقیق اسید کلریدریک استفاده می شد که در این محلول در تمام مدول سیستم RO به مدت نیم ساعت می چرخید. سپس مسیر سیستم را بوسیله آب مقطر به مدت تقریباً ۱۰ دقیقه شستشو داده می شد. در ادامه فیلتر را از خارج کرده و در هوای آزاد قرار داده تا خشک شود. بعد از خشک شدن، مجدداً در سیستم قرار داده می شد. جهت کنترل فرآیند، قبل از عبور نمونه سنتتیک ساخته شده، یک نمونه از خروجی سیستم گرفته می شود.

در ابتدا دستگاه را توسط غلظت‌های ساخته شده از کلروفرم با استانداردهای در محدوده ۶۰۰-۰  $\mu\text{g/l}$  در آب خالص تهیه، و در دستگاه جهت ساخت منحنی‌های استاندارد، تزریق شد. نمونه‌های عبوری از سیستم RO حاوی کلروفرم را با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل CP-3800 ساخت شرکت VARIAN استرالیا آنالیز شد که مجهز به دتکتور جذب شعله (GC-FID) با نمونه بردار اتوماتیک COMBIPAL HS بود. ویال سیستم (GC-FID) با دتکتور HS، ۱۰ میلی لیتری بوده و بعد از نمونه برداری، ۵ میلی لیتر از نمونه‌های گرفته شده (بوسیله پیپت ۵ میلی لیتری حبابدار استریل)، در آن ریخته می شد. بعد از آماده سازی و کد گذاری نمونه‌ها، نمونه‌ها در یک اوون با دمای  $70^{\circ}\text{C}$  به مدت ۵ دقیقه قرار می گرفت، سپس بصورت اتوماتیک توسط یک میکروسپلر  $300\ \mu\text{m}$  از HS به داخل ستون GC (مدل ستون CP-SIL 8 CB و  $30\ \text{m} \times 0.25\ \text{mm}$  با ضخامت فیلم برابر با  $0.25\ \mu\text{m}$ ، VARIAN، استرالیا) تزریق می شد. دمای ستون  $35^{\circ}\text{C}$  بود که با سرعت  $9^{\circ}\text{C/min}$  گرم می شد تا به دما  $100^{\circ}\text{C}$  برسد (زمان ماند ۸ دقیقه). ورودی در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  تنظیم شد و دمای FID برابر  $280^{\circ}\text{C}$  بود. از گاز هلیوم با فشار ۱۱ psi و میزان ۳۵ ml/min بعنوان گاز حامل و از گاز نیتروژن بعنوان گاز کمکی (make up) استفاده می شد.

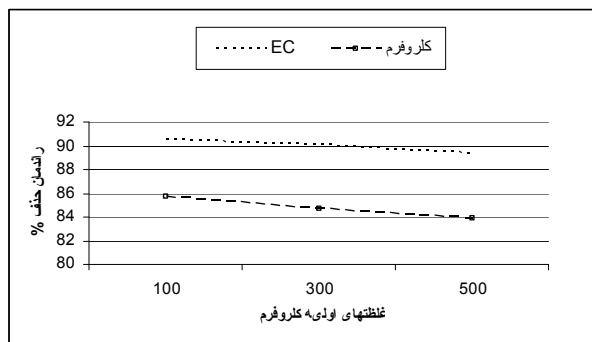
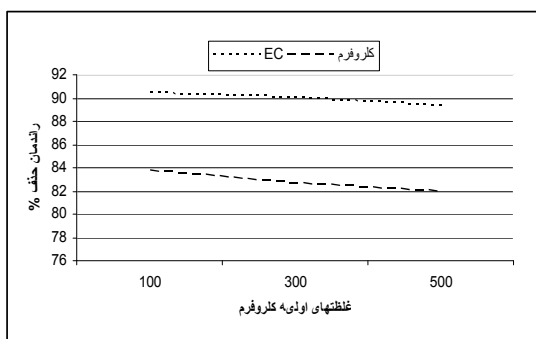
## یافته های پژوهش

جدول ۱ و نمودارهای ۱ و ۲، نتایج حاصل از عبور آب با غلظتهای مختلفی از THMs، دبی و هدایت الکتریکی را نشان می دهد. با توجه به تعداد و نوع نمونه های مورد آزمایش در این تحقیق، کلیه نتایج بدست آمده را با استفاده از روشهای آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر این اساس بین تغییرات غلظت کلروفرم و میزان EC در دبی های مختلف رابطه های معنی داری وجود دارد ( $p < 0.05$ ). همانطور که از جدول شماره ۲ و نمودارهای شماره ۱ و ۲ پیداست با افزایش دبی (افزایش جریان با استفاده از دو پمپ (  $1.73 \text{ l/min}$  )), میزان حذف کلروفرم کاهش می یابد و با کاهش راندمان حذف EC میزان حذف کلروفرم نیز کاهش می یابد. البته این مقدار کاهش ناچیز می باشد و می توان بدین نتیجه رسید که میزان حذف کلروفرم وابسته به غلظت EC می باشد (زیرا  $p < 0.05$  برای آنها به اثبات رسید). با افزایش غلظت کلروفرم از  $100 \text{ } \mu\text{g/l}$  به  $500 \text{ } \mu\text{g/l}$ ، مقدار حذف کلروفرم کاهش میابد ( $p < 0.05$ ). در کل با توجه به جدول شماره ۲، متوسط حداکثر میزان حذف کلروفرم و EC در حالت تک پمپ و در متوسط غلظت اولیه کلروفرم ( $100 \text{ } \mu\text{g/l}$ ) و EC ( $100 \text{ } \mu\text{s/cm}$ )، به ترتیب برابر با ۸۵٫۶۷ و ۹۰٫۴۶ درصد می باشد. متوسط حداقل میزان حذف کلروفرم و EC در حالت دو پمپ و در غلظت اولیه کلروفرم ( $500 \text{ } \mu\text{g/l}$ ) و EC ( $1000 \text{ } \mu\text{s/cm}$ )، به ترتیب برابر با ۸۱٫۹۸ و ۸۸٫۲۲ درصد می باشد.

## جدول شماره ۲: راندمان حذف EC و کلروفرم در دبی و غلظت های گوناگون

غلظت تری هالومتان	راندمان حذف ( $\text{ms/cm}$ ) EC در حالت تک پمپ	راندمان حذف ( $\mu\text{g/l}$ ) EC در حالت دو پمپ	راندمان حذف THMs در حالت تک پمپ	راندمان حذف THMs در حالت دو پمپ
$100 \text{ } \mu\text{g/l}$	90.4۶	۸۸٫۸۵	۸۵٫۶۷	83.7۸
$300 \text{ } \mu\text{g/l}$	۹۰٫۰۵	89.57	۸۴٫۷۴	۸۲٫۴۸
$500 \text{ } \mu\text{g/l}$	۸۹٫۳۴	۸۸٫۲۲	۸۳٫۹۱	۸۱٫۹۸

همانطور که از این نمودارها پیداست با افزایش غلظت EC از  $100 \text{ } \mu\text{s/cm}$  تا  $1000 \text{ } \mu\text{s/cm}$ ، راندمان حذف کلروفرم ورودی از  $100 \text{ } \mu\text{g/l}$  تا  $300 \text{ } \mu\text{g/l}$ ، کم می شود. در کل می توان تحت بدترین شرایط آزمایشگاهی انجام شده حداقل ۸۰ درصد از کلروفرم را حذف نمود.



**نمودار شماره ۱: راندمان حذف کلروفرم (شاخص تری هالومتانها) و EC نمودار شماره ۲: راندمان حذف کلروفرم (شاخص تری هالومتانها) و EC**

### بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل شده از فرآیند اسمز معکوس خانگی می توان بعنوان روشی برای حذف تری هالومتانها در آب آشامیدنی و در نقطه مصرف (POU) استفاده کرد که البته این مقدار حذف به یک سری شرایط ذکر شده در بالا و شرایطی همچون وجود فشار بالای آب و یا وجود نیروی برق در دسترس می باشد.

p.c.mayankutty و همکارانش نشان دادند که غلظت تری هالومتان آب تصفیه شده همچنین آب چاههای کلرینه شده از سه واحد نمکزدایی از آب دریا در سه استان شرقی عربستان سعودی و آب تولیدی شهر ریاض و چندین ناحیه دیگر خیلی پایینتر از حداکثر مجاز رهنمود WHO و دیگر رهنمودها و استانداردهای بین المللی بود (۳۰).

همچنین Z. Pawlak و همکارانش در سال ۲۰۰۵ توانستند با استفاده از سیستم های اسمز معکوس در مقیاس پایلوت، بیش از ۹۸,۵٪ آرسنیک را حذف کنند (۲۸).

Chungsyng Lu و همکارانش طی مطالعه ای در سال ۲۰۰۵ نشان دادند که نانو تیوب ها تری هالومتانها را از آب حذف کرده همچنین آنها اثبات کردند که  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ، بیشتر از بقیه ترکیبات تری هالومتانها توسط CNTs جذب شده و در ادامه آن به ترتیب  $\text{CHBrCl}_2$ ،  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$  و سپس  $\text{CHBr}_3$  بیشترین حذف را داشتند (۳۱).

Dumitru Ristoiu و همکارانش میزان تولید THMs را در Cluj-Napoca اندازه گیری کردند. نتایج آنها نشان می داد که غلظت THMs در همه نمونه ها کمتر از ۱۰۰ بود (کمتر از حداکثر مقدار استاندارد آب آشامیدنی کشور رومانی بود) (۱۵).

تقدیر و تشکر



در اینجا از جناب آقای مهندس شاهرخ نظم آرا مسئول محترم آزمایشگاه شیمی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران و سرکار خانم شیرین کارشناس آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران که همکاری لازم را مبذول فرمودند کمال تشکر و قدردانی به عمل می آید.

## منابع:

1. Stevens, A. A., Slocum, C. J., Seeger, D. P., and Robeck, G. G. (1976). Chlorination of organics in drinking water, J. Am. Water Works Assoc., 68, 615
2. Babcock, D. B., and Singer, P. C. (1979). Chlorination and coagulation of humic and fulvic acids, J. Am. Water Works Assoc., 71, 149
3. Christman, R. F., Norwood, D. L., Millington, D. S., Johnson, J. D. and Stevens, A. A. (1983). Identity and yields of major halogenated products of aquatic fulvic acid chlorination, Env. Sci. Tech., 17, 625
۴. Lim Fang Yee, Md. Pauzi Abdullah, Sadia Ata and Basar Ishak. Dissolved organic matter and its impact on the chlorine demand of treated water. The Malaysian Journal of Analytical Sciences, Vol 10, No 2 (2006): 243-250
۵. محمد تقی صمدی، سیمین ناصری، علیرضا مصداقی نیا، محمدرضا علیزاده فرد. بررسی مقایسه حذف تری هالومتانها (THMs) از آب آشامیدنی با استفاده از ستون آکنده زدایش با هوا و نانو فیلتراسیون. مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۷، سال ۱۳۸۵
۶. Singer, P. C. (1993): Formation and characterization of disinfection by-products, Safety of water disinfection: balancing microbial risks, G. F., Craun ed., Int. Life Sciences Inst. Press, Washington, D. C., 201-219
۷. Singer, P. C. (1994): Control of disinfection by-products in drinking water, J. Env. Eng., 120, Jul/Aug 1994
۸. Pourmoghaddas, H., and Stevens, A. A. (1995): Relationship between trihalomethanes and haloacetic acids with total organic halogen during chlorination, Water Research, 29, 2059-2062
۹. Lekkas, T.D., (1996): Environmental Engineering I: Management of Water Resources, University of the Aegean, Department of Environmental Studies, Mytilene, Greece
۱۰. Krasner, S. W., McGuire, M. J., Jacangelo, J. J. et al., (1989): The occurrence of disinfection by-products in U.S. drinking water, J. Am. Water Works Assoc., 81, 41
۱۱. Williams, D. T., LeBel, G. L., and Benoit, F. M. (1997): Disinfection by-products in Canadian drinking water, Chemosphere, 34, 299-316
۱۲. Golfinopoulos, S. K., Kostopoulou, M. N., and Lekkas, T. D. (1993). Detection of THMs in the Athens water supply, Proceedings 3rd Conference on Environmental Science and Technology, Vol. B., p 423, Molyvos, Lesvos, Greece
۱۳. Golfinopoulos, S. K., Kostopoulou, M. N., and Lekkas, T. D. (1996a). Seasonal variation in trihalomethanes level in the water supply system of Athens, 6th International Conference on Environmental Contamination, Delphi, Greece
۱۴. LeBel, G. L., Benoit, F. M., Williams, D. T. (1997): A one-year survey of halogenated DBPs in the distribution system of treatment plants using three different disinfection processes, Chemosphere, 34, 2301-2317
۱۵. Dumitru Ristoiu, Melinda-Haydee Kovacs, Iovanca Haiduc, Sidonia Vancea. Disinfection efficiency-Trihalomethanes (THMs) formation after chlorination process.
۱۶. U.S. EPA (1997): Summaries of new health effects data, Office of Science and Technology, Office of

## Water

۱۷. U.S. EPA (1998a): National Primary Drinking Water Regulations: Disinfectants and Disinfection By-Products Notice of Data Availability, Office of Ground Water and Drinking Water, <http://www.epa.gov/OGWDW/mdbp/dis.htm>

۱۸. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ۱۳۷۶، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی، استاندارد شماره ۱۰۵۳، چاپ پنجم، تهران.

۱۹. Bull, R. J., and Robinson, M. (1986). Carcinogenic activity of haloacetonitrile and haloacetone derivatives in the mouse skin and lung, In: Water chlorination: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects, Vol. 5, Lewis Publishers, USA, pp 221-227

۲۰. Singer, P. C., and Harrington, G. W. (1993): Coagulation of DBP precursors: theoretical and practical considerations, Proc. Water Quality Technol. Conf., American Water Works Assoc., Denver, Colo., 1-19

۲۱. Laine, J. M., Jacangelo, J. G., Cummings, E. W., Carns, K. E., and Malleviale, J., (1993): Influence of bromide on low-pressure membrane filtration for controlling DBPs in surface waters, J. AWWA, 85, 87

۲۲. Sandrucci, P., Merlo, G., and Meucci, L. (1995): PAC activity vs by-product precursors in water disinfection, Water Research, 29, 2299-2308

۲۳. Premazzi, G., Cardoso, C., Conio, O., Palumbo, F., Ziglio, G., Meucci, L., Borgioli, A. (1997): Standards and strategies in the European Union to control trihalomethanes in drinking water, Environment Institute, European Commission Joint Research Centre and Techware, Italy

۲۴. Cowman, G. A., and Singer, P. C. (1994). Effect of bromide ion on haloacetic acid speciation resulting from chlorination and chloramination of humic extracts, Proc. Annu. Conf., American Water Works Assoc., Denver, Colo.

۲۵. Wolfe, R. L. (1990): Ultraviolet disinfection of potable water, Env. Sci. Tech., 24, 768

۲۶. Richardson, S. D., Thruston, A. D., Collette, T. W., Patterson, K. S., Lykins, B. W., and Ireland, J. C. (1996): Identification of TiO<sub>2</sub>/UV disinfection byproducts in drinking water, Env. Sci. Tech., 30, 3327-3334

۲۷. Crittenden JC, Trussell RR, Tchobanoglous G. Water Treatment: Principles and Design. 2nded. John Wiley & Sons, Inc; 2005, pp1430-1500.

۲۸. Z. Pawlak, S. Żak, L. Zabłocki. Removal of hazardous metals from groundwater by Reverse Osmosis. Polish J. of Environ. Stud. Vol. 15, No. 4 (2006), 579-583.

۲۹. Public Health and the Environment World Health Organization Geneva 2007. Desalination for Safe Water Supply; Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination. 2007. pp42-44.

۳۰. P.C. Mayankutty, Azhar Amin Nomani, and T.S. Thankachan. Estimation of trihalomethanes in chlorinated drinking water from sea water desalination plants in Al-Jubail, Al-Khobar and Al-Khafji. Presented at WSTA Conference held in Kuwait in 2005

۳۱. Chungsyng Lu, Yao-Lei Chung, Kuan-Foo Chang. Chungsyng Lu, Yao-Lei Chung, Kuan-Foo Chang. Water Research 39 (2005) 1183-1189